



Revue semestrielle – Université Ferhat Abbas Sétif 1

REVUE AGRICULTURE



**Performances et limites d'utilisation des boues des stations d'épuration pour l'élevage de plants forestiers en pépinière : Cas du pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.)**  
**Performance and limits of use of sewage sludge for seedlings production: case of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.)**

**Mebarek CHOUIAL<sup>(1\*)</sup>, Samir BENAMIROUCHE<sup>(1)</sup> et Omar BELBELDI<sup>(2)</sup>**

*(1) Station régionale de recherche forestière kissir El Aouana –Jijel (Algérie)*

*(2) Université Mohammed Seddik Ben Yahia - Jijel (Algérie)*

*(1\*) Email : [mchouial@gmail.com](mailto:mchouial@gmail.com)*

**ARTICLE INFO**

Reçu : 02-03-2017

Accepté : 29-10-2017

**Keywords:**

Wastewater sludge-maritime pine- up ground nursery-physiochemical characteristics-behaviour- growth.

**Mots clés :**

*Boues résiduaires, substrat, caractéristiques physico-chimiques, pépinière hors sol, Pin maritime, croissance.*

**ABSTRACT**

This work aims to the physicochemical characterization of the sludge resulting from wastewater treatment station of Setif and to evaluate the possibility of their incorporation with other organic materials for seedling production. For this, growth of maritime pine containerized seedling from mixture made of forest-oak humus and cork granules (1:1) were compared to seedlings from mixture made of variable proportions of forest-oak humus, cork granules and sludge. Monthly measurements were made on an equal sample of seedlings of each growing mixture. The physicochemical analysis proved that the sludge here used is rich on organic substance and that the concentration of heavy metals agrees with admitted standards. We found, that the best survival rate and growth levels were obtained with seedlings supplied by the mixture made of 20% of sludge. However, from the results it appears that doses of sludge up of 20% induce physiological problems for maritime pine seedlings. Thus, we concluded that the sludge of Setif wastewater treatment station can be safely incorporated for seedling production with dose low than 20%.

**RÉSUMÉ**

Ce travail porte sur la caractérisation des boues résiduelles issues des stations d'épuration de point de vue physico-chimique et d'évaluer la possibilité de leur incorporation avec d'autres matériaux organiques pour la confection de substrats d'élevage en pépinière forestière. Ainsi, la croissance et le comportement de plants de pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) élevés dans un substrat composé de 50 % de l'humus forestier et 50 % de granulés de liège (substrat témoin), sont comparés à ceux de plants élevés dans des substrats où l'humus forestier est remplacé par des proportions de 10,15, 20,25 et 30 % de boue. Après un cycle d'élevage en pépinière, les meilleurs taux de croissance en hauteur, diamètre au collet et biomasse ainsi que l'aspect qualitatif des plants de pin maritime ont été obtenus avec le substrat composé de 20 % de boues. Dans cette expérimentation, l'utilisation de boues de stations d'épuration comme composante dans les substrats de culture en proportion supérieure à 20% a provoqué un jaunissement des plants de pin maritime qui pourraient s'expliquer essentiellement par une carence ou un excès de certains éléments nutritifs ou par un phénomène de toxicité dû à la présence de certains métaux lourds.

## 1. Introduction

Le fonctionnement des stations d'épuration génère des quantités énormes de boues résiduaires. En Algérie, la quantité des boues produites annuellement reste malheureusement méconnue, mais, le volume global d'eaux usées rejetées annuellement est évalué par l'Office National d'Assainissement à près de 600 millions de m<sup>3</sup>. Ce chiffre passerait à près de 1,150 millions de m<sup>3</sup> à l'horizon 2020. Plusieurs filières existent pour l'élimination des boues d'épuration, mais le choix doit être tributaire du coût d'installation et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement. La mise en décharge s'avère une technique peu valorisante et est légalement interdite dans de nombreux pays. L'incinération a un coût exagéré et présente un risque lié à l'impact de gaz toxiques sur l'environnement. Le recyclage ou valorisation agricole constitue un mode de gestion plus rationnel et contribue à une réintégration des éléments minéraux et organiques dans les sols, ce qui permet de se rapprocher des cycles naturels (De Bertoldi et al., 1983). En effet, les boues présentent les caractéristiques d'un amendement organique bien pourvu en matière organique, azote, phosphore, ainsi qu'en oligo-éléments (Jarde, 2003).

Au cours de ces dernières années, de nombreuses études sur la valorisation agricole des boues résiduaires ont été menées (Couillard, 1986; Kiemec et al. 1990; Mcconell et al. 1993; Ozores et al. 1997; Amir, 2005; Zraïbi et al. 2015). Par ailleurs, plusieurs auteurs ont vérifié l'efficacité de l'épandage de boues des stations d'épurations en milieu forestier pour augmenter de façon significative le taux de survie et d'améliorer la croissance des plants après plantation (Benmouffok, 1994; Dridi et al. 1998, Bascol et al. 2000; Cadillon et al. 2000; Chossat, 2000; Ripert, 2000; Igoud, 2001; Bentrouche, 2007). Cependant, peu d'études ont porté sur l'utilisation de boues dans la production de plants forestiers (Polan et al. 1993; Roula, 2005, Laala et al., 2016). L'objet de cette étude était de caractériser les boues résiduaires provenant de la station d'épuration des eaux usées domestiques de la ville de Sétif (Nord est Algérien) et d'étudier la possibilité de les intégrer dans le processus d'élevage de plants forestiers en pépinière. L'essence retenue pour l'essai est le pin maritime, compte tenu de son importance socio-économique d'une part et de la place qu'il occupe dans le plan national de reboisement. Le suivi du comportement des plants vis-à-vis des différentes proportions des boues a été entrepris pour connaître les possibilités et les limites de leur utilisation pour l'élevage de plants de cette espèce en pépinière.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Site d'expérimentation

Les travaux liés à cette expérimentation ont été menés au niveau de la pépinière expérimentale de la station régionale de recherche forestière de Jijel sise à environ 12 km à l'ouest du chef lieu de la wilaya de Jijel sur le littoral- est Algérien. Cette pépinière de type hors sol installée en 1996, se trouve à 20 m d'altitude, bénéficie d'un climat méditerranéen ; pluvieux et froid en hiver, chaud et humide en été.

### 2.2. Substrats d'élevage des plants

Au cours de cet essai, six substrats ont été utilisés où chaque substrat représente un traitement(T). Le substrat témoin composé de 50 % d'humus forestier et 50% de granulés de liège incinérés et compostés, constitue le substrat ordinaire utilisé au niveau de la pépinière expérimentale pour la production de plants de pin maritime. En fixant le pourcentage de granulés de liège à 50 %, les cinq autres substrats ont été formés par le remplacement d'une partie de l'humus forestier par des proportions de compost de boues résiduaires de 10,15, 20, 25 et 30%. On a ainsi obtenu six substrats composés comme suit :

**T0** : 50 % humus forestier + 50 % granulés de liège (témoin)

**T1** : 10 % compost de boues résiduaires + 40 % humus forestier + 50 % granulés de liège

**T2** : 15 % compost de boues résiduaires + 35 % humus forestier + 50 % granulés de liège

**T3** : 20 % compost de boues résiduaires + 30 % humus forestier + 50 % granulés de liège

**T4** : 25 % compost de boues résiduaires + 25 % humus forestier + 50 % granulés de liège

**T5** : 30 % compost de boues résiduaires + 20 % humus forestier + 50 % granulés de liège

Le compost de boues utilisé provient de la station d'épuration des eaux usées de la ville Sétif. Ce dernier a subi une maturation à l'air libre pendant deux années avant d'être employé en substrat. L'humus forestier est un matériau organique naturel issue de la décomposition de la litière accumulée sous une végétation de chêne liège de la région d'oued Kissir (W. Jijel), ce matériau constitue l'élément réteneur d'eau. Les granulés de liège de 4 à 12 mm de diamètre, incinérés et compostés ont été utilisés pour améliorer la porosité des substrats.

### 2.3. Description du test

Le dispositif expérimental adopté était de type blocs aléatoires complets avec trois répétitions et un seul facteur étudié (substrat). Chaque bloc renfermait 6 substrats. Chaque substrat a été représenté par quatre

caissettes contenant chacune 40 plants, soit un total de 480 plants par substrat. Les caissettes ont été posées sur des châssis surélevés de 30 cm par rapport à la surface du sol. Le dispositif renfermait au total 2880 plants (6 substrats x 160 plants x 3 blocs). Le semis des graines de pin maritime récoltées d'EL Kala (Littoral-Est algérien) a été effectué à raison de 03 graines semées par conteneur WM (400 cc) empotés par l'un des six substrats étudiés.

#### 2.4. Mesures et observations

Les mesures et les analyses ont concerné tout le long de l'expérimentation les paramètres suivants :

##### ✓ **Comportement des plants en pépinière**

- **Taux de levée** : représente le nombre total de plants ayant levés par rapport au nombre total des graines semées. Il a été déterminé à partir de la cinquième semaine après le semis.

- **Taux de survie** : représente le nombre total de plants restant en vie par rapport au nombre total des semis levés.

- **Hauteurs des tiges et diamètres au collet** : La hauteur (cm) des tiges des plants a été mesurée par une règle graduée depuis le collet jusqu'au bourgeon apical et le diamètre (mm) au collet des plants a été mesuré en même temps à l'aide d'un pied à coulisse à affichage digitale d'une précision 1/100 mm. Il faut noter que, pour minimiser les risques d'erreurs et arriver à une grande fiabilité dans les testes statistiques, nous avons opté pour un échantillonnage optimal et réalisable de 25% de l'effectif total (10 plants par caissette), ce qui représentait un total de 720 plants mesurés chaque mois. Les plants mesurés ont été choisis aléatoirement au sein des caissettes et des blocs. Ces mêmes plants ont été suivis tout au long de l'expérimentation.

- **Production de biomasse** : la biomasse sèche des parties aériennes et racinaires a été déterminée après séparation des deux parties puis leur pesée l'aide d'une balance de précision 1/100 après étuvage à 105°C pendant 24 heures. Pour des raisons pratiques nous avons prélevé aléatoirement quatre plants par substrat et par bloc, soit au total 72 plants.

##### ✓ **Analyse physico-chimiques de la boue résiduaire et des substrats étudiés**

###### - **Le pH**

La mesure du pH a été réalisée par un pH-mètre de type Methrom sur une suspension plus ou moins diluée (4 g de substrat et boue dans 100 ml d'eau distillée) et agitée pendant une heure.

###### - **La conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique exprimée en (mS/cm) ou (mmhos/cm<sup>3</sup>) a été mesurée à l'aide d'un conductimètre électronique sur un extrait de substrat à une température de référence égale à 25°C (Rapport d'extraction de 1/5 pour dissoudre les électrolytes).

###### - **Le dosage de carbone et de la matière organique**

Le dosage de carbone a été effectué par la méthode de WALKEY-BLACK basée sur l'oxydation à froid de carbone organique par la dichromate de potassium en milieu acide. Le taux de matière organique en pourcentage a été évalué de manière approximative en multipliant celui du carbone par 1.724.

$$MO (\%) = C (\%) \times 1.724$$

###### - **Calcaire total**

Le dosage du CaCO<sub>3</sub> total (%) a été réalisé par la méthode volumétrique à l'aide du calcimètre de BERNARD. Celle-ci est basée sur la décomposition des carbonates de calcium par l'acide chlorhydrique et la mesure du volume de CO<sub>2</sub> dégagé dans un tube gradué en mm ou en unités inférieures (Aubert, 1978).

###### - **La capacité d'échange cationique (CEC)**

La CEC (meq/l) a été déterminée par la méthode internationale basée sur la centrifugation à l'alcool puis la distillation avec un excès de soude.

###### - **Les éléments traces**

Le dosage des éléments traces dans la boue et les substrats testés a été effectué par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les éléments dosés étaient le Zinc (Zn), le Cuivre (Cu), le Cadmium (Cd), le Plomb (Pb), le Manganèse (Mg), le Nickel (Ni) et le Chrome (Cr).

- **L'azote total** : l'azote N(%) a été déterminé par la méthode KJELDAHL basée sur l'attaque à chaud de la matière organique par l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentré en présence d'un catalyseur. La solution d'extraction est distillée avec un excès de soude et titrée par H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,05 N).

###### - **Le phosphore assimilable**

L'extraction et le dosage du phosphore assimilable ont été réalisés par la méthode JORET- HEBERT qui utilise une solution d'oxalate d'ammonium avec une agitation pendant 2 heures—normes AFNOR NFX31-91 (Baize, 1988).

**- La porosité totale**

La porosité d'un substrat de croissance représente les espaces qui ne sont pas occupés par les particules. Elle a été mesurée selon la méthode de Lamhamedi et al (2006) qui consiste à mesurer le volume d'eau nécessaire à la saturation d'un volume précis de substrat et qui représente la porosité totale.

$$\text{Porosité Totale (PT)} = (V A \div VT) \times 100$$

**VT** : Volume total du récipient

**VA** : Volume d'eau nécessaire pour saturer le matériel

✓ **Statut nutritionnel des plants** : A la fin du cycle d'élevage, deux plants par substrat et par bloc ont été extraits de leur motte, lavés à l'aide d'un jet d'eau distillée et séparés en deux parties; partie racinaire et partie aérienne. Ces tissus ont alors été séchés à l'étuve à 65 °C pendant 48 heures. Ces échantillons secs ont été broyés afin de créer un échantillon composite par type de tissus avant d'être placés dans un récipient hermétique. Les concentrations en azote total ont été évaluées selon la méthode de Kjeldahl selon la norme AFNOR V03 – 050. Le principe de la méthode repose sur une minéralisation par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur, une alcalinisation des produits de la réaction par la lessive de soude concentrée et une distillation de l'ammoniac libéré et un titrage. Les concentrations en Cu, en Zn et en Mn ont été évaluées par la spectrophotométrie d'absorption atomique.

✓ **Aspects qualitatifs** : ces observations ont été effectuées à la fin de cycle d'élevage des plants. Les plants ont été visuellement examinés de point de vue aspect général, état phytosanitaire (nécrose, toxicité, carence, etc.) et de colonisation de la motte par le chevelu racinaire.

**2.5. Analyse statistique**

La données obtenues ont fait l'objet d'une analyse de variance (ANOVA) à un seul critère de classification (substrat) (Dagnelie, 2003). Dans le cas d'une différence significative, l'analyse a été complétée par le test de Newman et keuls au seuil de 5 % qui consiste en une comparaison des moyennes deux à deux et au groupage des moyennes non différentes. Les analyses ont été effectuées par le logiciel XLSTAT.

**3. Résultats**

**3.1. Propriétés physico-chimiques de la boue testée**

Les résultats de l'analyse physico-chimique de la boue testée (Tableau 1) ont montré que cette boue renferme 22,06 % de matière organique, une teneur beaucoup plus faible que celle des normes AFNOR citées par Lacey (1985). Le pH était légèrement acide, avec une valeur de 6,48. La teneur en calcaire total était de 74,47% classant ainsi cette boue dans la classe des sols de très fortement calcaires (Baize, 1988).

De point de vue salinité, la boue présente une conductivité électrique de l'ordre de 0,264 mmhos/cm. D'après l'échelle de salinité européenne d'Aubert(1978), la boue utilisée dans cet essai était non salée. La boue testée possède une capacité d'échange cationique très élevée, de l'ordre de 125,20 meq/l. Par ailleurs, elle est riche en azote (N) et en potassium (K) et pauvre en phosphore (P) par rapport aux normes requises. Les métaux lourds étaient présents dans la boue sans pour autant dépasser les normes préconisées pour leur valorisation. Leurs concentrations étaient largement inférieures aux normes AFNOR citées par Lacey (1985) et Couillarde et Grenier (1988).

**Tableau 1** : Analyse physico-chimique de la boue étudiée

Elément	Boue	Normes	Elément	Boue	Normes
pH	6,48		Calcaire total (%)	74,47	-
Carbone total (%)	12,79		C/N	4,41	-
Matière organique (%)	22,06	40-65(1)	Cuivre (ppm)	137,62	1000 (1) -600(2)
CE (mmhos/cm) à 25°C	0,264		Zinc (ppm)	761,28	3000(1)-25000(2)
CEC (meq/l)	125,20		Plomb (ppm)	254,40	800(1)-300(2)
Porosité (%)	53,74		Manganate (ppm)	326,68	800(1)
Azote total (%)	2,90	2-2.5 (1)	Cadmium (ppm)	6,40	20(1)-10(2)
Potassium (%)	0,90	0,16- 0,40 (1)	Chrome (ppm)	41,07	100(1)-500(2)
Phosphore (%)	0,17	0,43-0,87 (1)			

(1) Lacey (1985) (2) Couillarde et Grenier (1988)

### 3.2. Caractéristiques physico-chimiques des substrats avant l'ensemencement

L'analyse des propriétés physico-chimiques des différents substrats avant le semis en pépinière a montré une variation de la teneur en matière organique entre 5,25 et 22,06 (Tableau 2). Le pH était légèrement acide à neutre pour l'ensemble des substrats. Selon Andre (1987), ces valeurs de pH (6,41 à 6,91) sont dans l'intervalle souhaitable à la culture hors sol. Les conductivités électriques des différents substrats étaient assez proches et oscillent entre 0,106 mmhos/cm pour le substrat T4 composé de 25 % de boue et 0,819 mmhos/cm pour le T2 composé de 10% de boue. Avec des capacités d'échanges cationiques dépassant les 100meq/l, les substrats à base de boues étaient chimiquement plus actifs (Faucard, 1994) que le témoin ayant une CEC de 75.10meq/l. Les teneurs en matière organique étaient importantes et varient avec les proportions de boue. En ce qui concerne la porosité totale, l'ensemble des substrats ont des porosités relativement élevées et varient entre 50,06 et 75,10% et restent dans l'intervalle souhaitable à la culture hors sol.

**Tableau 2 :** Résultats d'analyse physico-chimique des substrats de culture testés au début de culture

Elément	T0	T1	T2	T3	T4	T5
pH	6,52	6,91	6,64	6,41	6,58	6,60
Carbone total (%)	3,05	6,50	6,61	6,73	8,77	10,54
Azote total (N %)	0,17	0,11	0,08	0,09	0,11	0,16
le rapport C/N	17,94	59,01	82,62	74,77	79,72	65,87
Matière organique (%)	5,25	11,10	11,39	11,60	15,12	21,08
CE (mmhos/cm)	0,664	0,550	0,819	0,141	0,106	0,135
CEC (meq/l)	75,84	102,62	109,54	116,21	117,65	120,47
Porosité (%)	75,10	71,84	63,08	57,12	53,41	50,06

### 3.3. Caractéristiques physico-chimiques des substrats en fin cycle d'élevage

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées en fin du cycle d'élevage sur les six substrats consignés dans le Tableau 3 ont montré une légère variation dans la conductivité électrique des différents substrats avec des valeurs variant de 0,906 mmhos/cm pour le substrat (T0) et 1,090 mmhos/cm pour le substrat (T5). Le pH des différents substrats plutôt légèrement acides au début de culture ont devenu légèrement alcalins. Les teneurs des substrats en azote total et en phosphore assimilable ont été relativement faibles. Les métaux lourds ont resté toujours présents dans les différents substrats mais avec des concentrations largement inférieures aux normes AFNOR citées par Lacey (1985) et Couillarde et Grenier (1988).

**Tableau 3:** Analyse physico-chimique des substrats en fin cycle d'élevage

Substrats	T0	T1	T2	T3	T4	T5
pH	7,32	7,44	7,53	7,60	7,62	7,28
Calcaire total (%)	2,66	8,66	9,33	14	15,33	18,66
CE (mmhos/cm)	0,906	0,979	0,992	0,951	0,976	1,090
CEC	30,5	27	23	22,50	22,0	14
Carbone total (%)	2,74	4,91	5,08	5,36	4,67	4,15
Matière organique (%)	4,71	8,44	8,73	9,21	8,03	7,13
Azote total (N %)	0,5	0,1	0,6	0,7	0,6	1,0
le rapport C/N	5,48	16,36	7,25	5,36	7,78	4,15
Phosphore Assi. (P%)	0,09	0,38	0,41	0,32	0,26	0,25
NO <sub>3</sub> -(%)	0,13	0,25	0,29	0,30	0,30	0,39
Ni (ppm)	/	10	14	15	17	25
Cr (ppm)	/	40	43	13	36	16
Cu (ppm)	/	14	23	35	48	54
Mn (ppm)	/	606	573	569	585	494
Pb (ppm)	/	47,31	20,07	113,26	51,26	81,72
Cd (ppm)	/	6,85	21,08	6,85	10,54	5,10
Zn (ppm)	/	145,44	190,16	308,60	335,84	405,86

### 3.4. Le taux de levée

La figure 1 visualise les taux cumulés de levée des graines de pin maritime sur laquelle on remarque que la levée suit une évolution parallèle pour l'ensemble des substrats. Les taux finaux cumulés obtenus ont été

satisfaisants pour l'ensemble des substrats (supérieurs à 60 %). Il est toutefois bon de signaler ici qu'on aurait pu avoir des taux supérieurs à 80 % s'il n'y avait pas les dégâts occasionnés par la fonte des semis (fig.2). L'analyse de variance n'a pas révélé l'existence d'un effet de substrats sur le taux de levée des graines de pin maritime. Ces résultats ont montré que l'apport de boues n'avait aucun effet sur la levée des graines de pin maritime.

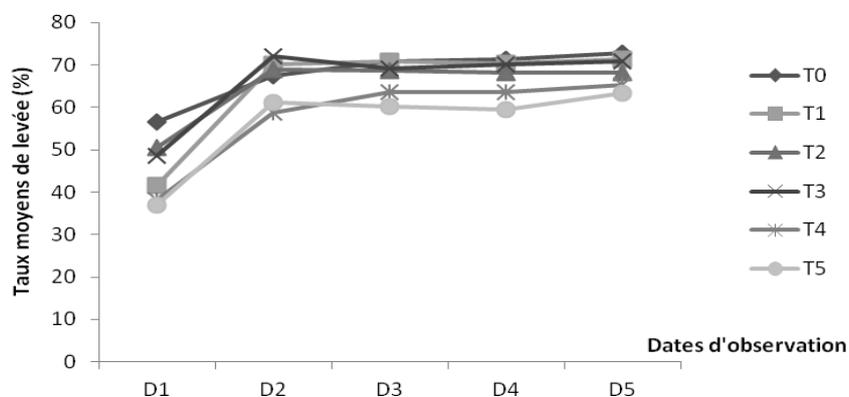


Fig.1 : Effet des substrats d'élevage sur la cinétique de levée des semis de pin maritime.

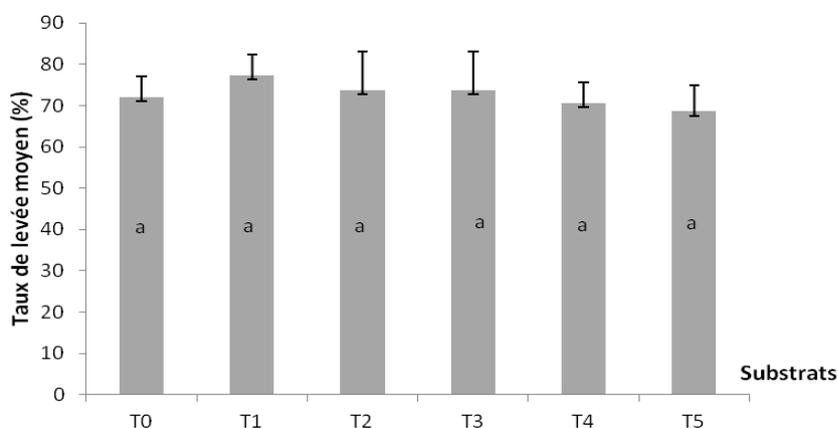


Fig. 2: Taux moyens de levée des semis de pin maritime avec barres d'erreurs standards.

### 3.5. Taux de survie

La figure 3 présente les taux de survie obtenus pour chaque substrat de culture en fin de cycle d'élevage de plants en pépinière. Les taux de mortalité enregistrés ont varié de 2 à 30 % chez les plants produits dans les substrats à base de boues résiduaires et de 8 % chez les plants élevés dans le témoin (T0). Parmi les substrats renfermant de la boue, le taux de mortalité le plus élevé ont été enregistré chez les plants du substrat T5.

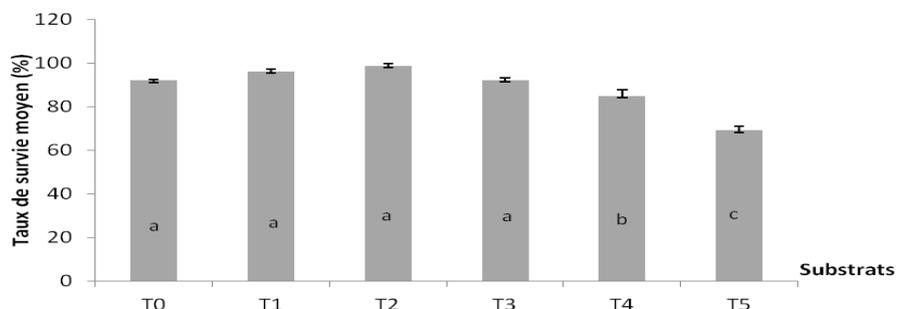


Fig. 3: Taux de survie moyen des jeunes plants de pin maritime par substrat

### 3.6. Croissance des plants

Le tableau 4 présente les paramètres de croissance de jeunes plants de pin maritime en fonction des substrats testés après 220 jours de l'ensemencement. D'après Lamhamedi, 2006, la croissance en hauteur constitue un

bon indicateur de la capacité photosynthétique et de la surface de transpiration qui sont étroitement corrélés avec la surface foliaire. L'analyse de la variance pour ce paramètre a révélé une différence significative au seuil de 5%. La comparaison des moyennes, deux à deux (test de Newman et Keuls) a révélé l'existence de deux groupes A et B qui se chevauchent :

Le premier groupe A a englobé respectivement les substrats : T1 (22,92 cm), T3 (21,10 cm), T2 (20,55 cm), T4 (19,56 cm) et T5 (18,70 cm). Le second groupe B a concerné uniquement le substrat T0 avec une hauteur moyenne de 17,45 cm. A la lumière de ces résultats, il apparaît clairement que les substrats T1, T3 et T2 où la dose des boues ne dépassait pas les 20 % étaient favorables à la croissance en hauteur des plants de pin maritime en pépinière.

La croissance en diamètre suit la même évolution que celle de la croissance en hauteur avec des différences significatives. La comparaison des moyennes a révélé l'existence de deux groupes distincts : Le groupe A a concerné encore les substrats T2, T1, T3, T5 et T4 avec respectivement 4,36 mm pour une dose de 15 % de boue, 4,35 mm pour une dose de 10 et 20%, 4,20 mm pour une dose de 30% et 4,18 mm pour une dose de 25%. Le groupe B a été formé par le substrat T0 (témoin) ayant enregistré le plus faible diamètre au collet (3,52 mm). Les résultats relatifs au rapport (H/D) exprimé en (cm/mm), ont montré que les plants élevés dans les substrats à bases de boues résiduaire ont atteint des rapports 5,02, 4,83, 4,72, 4,70 et 4,47 respectivement pour les substrats T3, T1, T4, T2 et T5 contre 4,83 pour le témoin. Selon les normes signalées par Lamhamedi et al. (2000), le ratio de robustesse (H/D) devrait être inférieur à 7. De ce fait, les résultats ont été globalement conformes aux normes.

Les figures 4 et 5 montrent respectivement l'évolution en hauteur et en diamètre au collet des plants en fonction des substrats testés. La croissance en hauteur des plants produits dans le substrat témoin a évolué suivant un rythme modéré tout le long du cycle d'élevage. Les autres courbes de croissance, ont révélé un rythme d'accroissement accéléré entre la première et la deuxième mensuration. Après la deuxième mensuration du mois de juin, il y avait un ralentissement de la croissance jusqu'à au mois d'août pour les plants du substrat T5. Après la troisième mesure, on a constaté aussi un ralentissement de la croissance des plants du substrat T4, par contre les courbes de croissance des substrats T1, T2 et T3 ont affiché une cadence accélérée.

Les courbes des accroissements en diamètre pour les différents substrats suivent la même allure que celle de la croissance en hauteur. La cadence de croissance en diamètre a pris une allure plus nette à partir du mois juin pour l'ensemble des substrats pour atteindre son maximum au mois d'octobre.

La biomasse sèche aérienne et racinaire des plants produits ont été légèrement variables d'un substrat à l'autre. En moyenne, la biomasse aérienne a été de l'ordre de 6,06 g. MS chez les plants des substrats à base des boues résiduaires et de 3,53 g. MS chez le témoin, alors les biomasses racinaires ont été respectivement 2,4 g. MS et 2,63 g. MS.

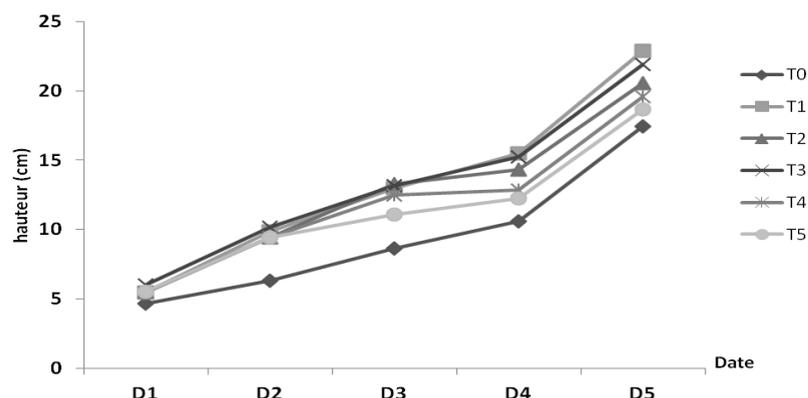
Le ratio des biomasses sèches aériennes et racinaires, traduisant l'équilibre entre la surface de transpiration (feuillage) et la surface d'absorption d'un plant (racines), se situait dans la limite admissible pour la production des plants en conteneurs, avec une valeur maximale de 2 g/g, considérée comme indice satisfaisant (Lamhamedi, 2006). Le meilleur rapport a été obtenu par le substrat T2.

Finalement, après une saison de croissance en pépinière, les meilleurs taux de croissance en hauteur, diamètre au collet et biomasse sèche des plants de pin maritime ont été obtenus avec le substrat T1, suivi par ordre décroissant par les substrats T3, T2, T4, T5 et T0.

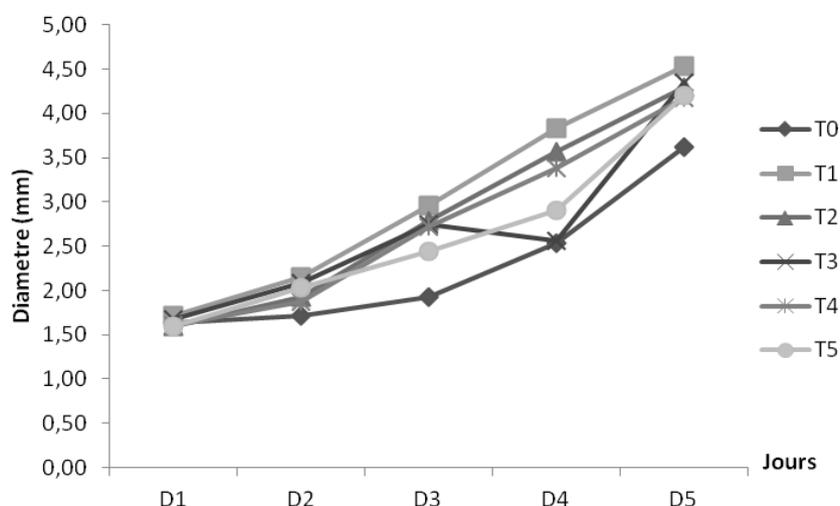
**Tableau 4** : Paramètres de croissance des plants de pin maritime 220 jours après l'ensemencement

Substrat	Hauteur des tiges (cm)	Diamètre au Collet (mm)	Rapport H/D	Biomasse sèche (g)		Rapport tiges/racines
				Tiges	Racines	
T0	17,45 b	3,52 b	4,81 a	3,53 a	2,63 a	1,54 a
T1	22,92 a	4,35 a	4,83 a	4,81 a	2,16 a	3,3 a
T2	20,55 ab	4,36 a	4,7 a	5,11 a	2,8 a	1,97 a
T3	21,10 ab	4,35 a	5,02 a	6,71 a	2,25 a	2,97 a
T4	19,56 ab	4,18 a	4,72 a	6,38 a	2,46 a	2,55 a
T5	18,70 ab	4,20 a	4,47 a	7,31 a	2,33 a	3,04 a

Les moyennes de chaque paramètre suivies des lettres différentes indiquent la présence de différences significatives entre les substrats au seuil de 5% selon le test Newman et Keuls.



**Fig.4 :** Evolution de la croissance moyenne en hauteur des plants de pin maritime en fonction des substrats



**Fig. 5:** Evolution de la croissance moyenne en diamètre des plants de pin maritime en fonction des substrats

### 3.7. Statut nutritionnel des plants

Le résultat d'analyse chimique des échantillons de plants prélevés en fin du cycle d'élevage a montré que les teneurs relatives en éléments minéraux de la partie aérienne et racinaire des jeunes plants de pin maritime ont varié en fonction de la composition et des caractéristiques physico-chimiques des substrats testés.

En effet, on constate qu'à la fin du cycle d'élevage en pépinière (220 jours après le semis) une légère variation quantitative des accumulations en azote total (macro-élément). Les plants élevés dans les substrats composés de 10,15 et 20 % de compost de boues ont accumulé plus d'azote total au niveau des parties aériennes (0,23 à 0,35 %) par rapports aux substrats T4 et T5 composés de 25 et 30 % de compost de boues qui ont accumulé 0,15 à 0,19 % (fig.6).

Au niveau des parties racinaires, la teneur en azote total était presque identique dans les tissus des plants pour l'ensemble des substrats testés avec des valeurs variant entre 0,14 à 0,24 %.

L'évaluation relative au statut nutritionnel en micro-éléments ou oligo-éléments (Mn, Zn et Cu) des parties aériennes des plants élevés sur les différents substrats testés a montré une variation en fonction de la composition des substrats (Fig.7). En effet, en fin du cycle d'élevage, seuls les substrats à base de compost de boues ont permis aux plants d'exporter des quantités de manganèse largement élevées (188,01 ppm en moyenne) que celle exportées chez les plants élevés sur le substrat témoin (49,25 ppm en moyenne). La comparaison entre les substrats à base de boues résiduaires a montré que les substrats T4 et T5 ont favorisé l'exportation des plus grandes quantités de zinc en fin du cycle avec des teneurs respectives de 388 et 516 ppm contre respectivement 152,131 et 208 ppm chez les plants produits sur T1, T2 et T3.

Le cuivre a été le micro-élément le moins exporté vers les parties aériennes des plants élevés sur tous les substrats testés à la fin du cycle d'élevage. Les substrats T1 et T3 ont moins exporté de cuivre avec des valeurs respectives de 1,07 et 3,52 ppm.

L'examen des résultats d'analyse des parties racinaires des mêmes plants en fin du cycle d'élevage a montré également une variation quantitative et qualitative des accumulations en micro-éléments (Cu, Mn et Zn) sur les différents substrats testés. Les teneurs des parties racinaires en micro-éléments ont été plus élevées que dans les parties aériennes.

Comparé aux autres micro-éléments, le manganèse a montré une importante accumulation au niveau des parties racinaires des plants. Les accumulations racinaires des plants de pin maritime en manganèse étaient respectivement de 206,79, 246,43, 517,84, 486,67 et 724,08 ppm pour T1, T2, T3, T4 et T5, contre 134,46 ppm pour le substrat témoin.

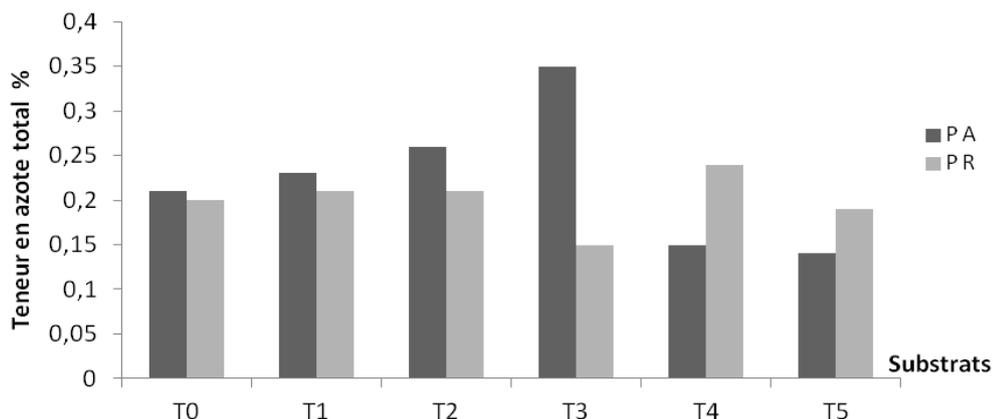


Fig.6 : Variation des teneurs en azote total des parties aériennes et racinaires des plants de pin maritime en fonction des substrats

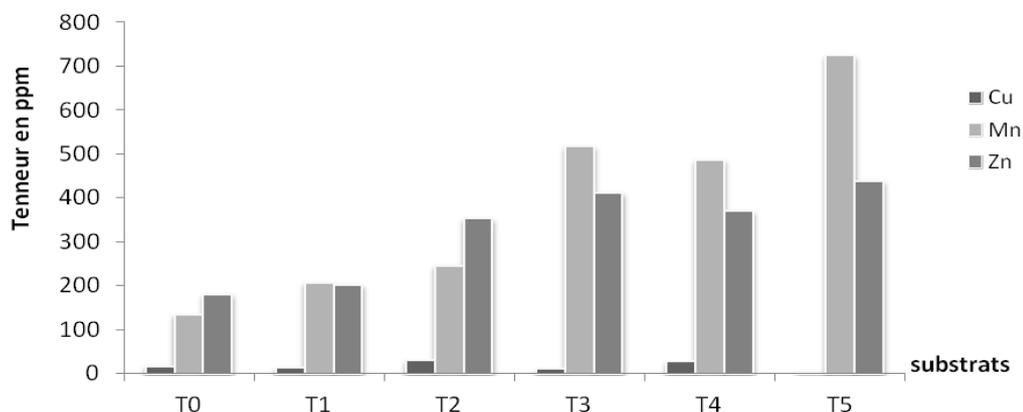
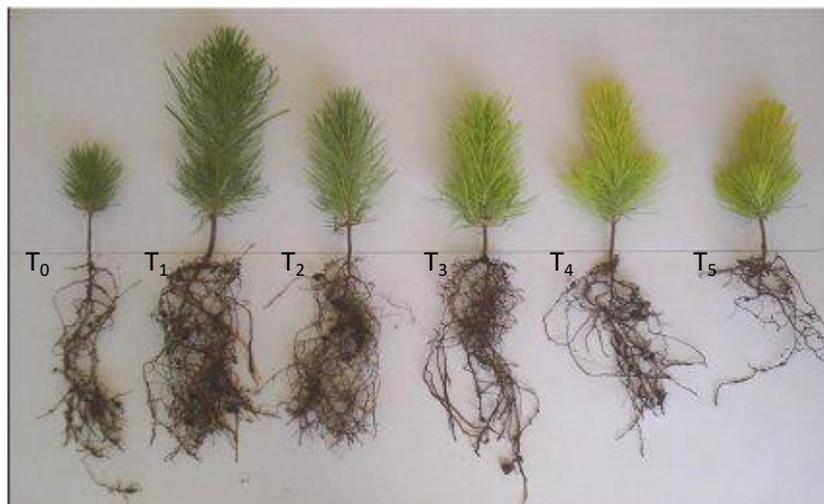


Fig.7 : Variation des teneurs en Cu, Mn et Zn de la partie racinaire des plants élevés dans les différents substrats

### 3.8. Aspects qualitatifs des plants

Pour les paramètres qualitatifs, les observations menées sur les lots des plants de pin maritime ont montré des symptômes apparents, caractérisés par une chlorose (jaunissement) de façon uniforme au niveau des aiguilles des plants des substrats renfermant plus 20 % de boues résiduaire. Après ce jaunissement, les jeunes aiguilles de l'apex devenaient brunes non photosynthétiques, cette étape est suivie par le dessèchement de l'apex et de plants.

Les jeunes plants de pin maritime produits dans les substrats T1 et T2 ont présenté une meilleure colonisation de la motte par un chevelu racinaire plus abondant permettant une bonne cohésion de la motte par rapport aux racines des plants des autres substrats. Tandis que les plants élevés dans les substrats T4 et T5 ont montré une insuffisance racinaire et un manque de cohésion de la motte (fig.8).



**Fig.8 :** Aspect qualitatif des plants élevés dans les différents substrats

#### 4. Discussion des résultats

L'objectif de cette expérimentation était d'évaluer la possibilité de valoriser la boue résiduaire de la station d'épuration de Sétif pour l'élevage en pépinière de plants de pin maritime. Les résultats de l'analyse chimique de la boue testée ont montré qu'elle était moyennement riche en matière organique et en éléments fertilisant essentiels (N, P, K), permettant de la classer comme amendement organique (Grenier, 1989).

Pour ce qui est des concentrations en éléments trace métalliques dont plusieurs auteurs précisent que ces éléments sont dangereux pour les végétaux et les animaux et peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses (Chang et al, 1992 ; Cripps et al, 1992), les valeurs enregistrées pour la boue testée étaient largement inférieures aux normes AFNOR citées par Lacey (1985) et Couillard et Grenier (1988), ne présentant pas ainsi de risque toxicité.

Un substrat de culture de bonne qualité devrait avoir des caractéristiques chimiques offrant les meilleures conditions de croissance aux plants. Il doit être biologiquement et physiologiquement stable, léger et avoir bonne capacité d'échange cationique (Argilier et al, 1990). Par ailleurs, vu l'impossibilité de leurs modifications après installation des jeunes plants, les caractéristiques physiques d'un substrat s'avèrent plus importantes que les propriétés chimiques (Ammari et al, 2006), car elles influent directement sur l'ensemble des fonctions racinaires des plants, notamment l'absorption de l'eau et des éléments minéraux (Landis et al. 1990). Elles doivent être, de ce fait, maîtrisées et optimisées avant culture par un choix raisonné des matériaux et de leurs proportions dans les substrats d'élevage.

La porosité est l'une des plus importantes propriétés physiques des substrats car elle détermine l'espace disponible dans le conteneur d'élevage pour l'air, l'eau et la croissance des racines (Liegel et Vinator, 1987). Les valeurs de la porosité totale des différents substrats testés en fin du cycle d'élevage en pépinière ont varié en fonction de la nature et de la proportion des divers constituants de chaque substrat. La diminution progressive de la porosité totale au cours d'élevage peut être expliquée par la perte de la matière organique qui évolue au cours du temps par minéralisation, en plus du tassement du substrat par l'eau de pluie et d'irrigation.

Les analyses chimiques effectuées sur les différents substrats testés en fin du cycle d'élevage des plants ont montré que ceux à base de boue possédaient des capacités d'échange cationique (CEC) relativement inférieures à celle du substrat témoin. Ces CEC ont varié entre 14 à 27 meq/l pour les substrats contenant de la boue résiduaire contre 30,5 meq/l pour le substrat témoin. Comparés aux résultats avant l'ensemencement, il apparaît, d'une façon générale, que les CEC de l'ensemble des substrats élevés au début de culture ont diminué graduellement au cours d'élevage. Cette diminution importante de la capacité d'échange cationique peut être expliquée d'une part, par l'utilisation des éléments nutritifs par les plants pour leur croissance et d'autre part par la perte de ces éléments par le lessivage des substrats étant donné que les plants ont été élevés dans des conteneurs à fond ajouré.

Le pH des six substrats testés a varié durant le cycle d'élevage des plants. Affichant une légère acidité au début de culture (6,41 à 6,91), ils deviennent légèrement alcalins (7,2 à 7,5) en fin du cycle d'élevage mais avec des valeurs qui ont resté, toutefois, dans l'intervalle souhaitable pour la culture hors-sol (Andre, 1987). Cette augmentation du pH peut être expliquée par le fait que l'eau utilisée pour l'irrigation en pépinière a

habituellement un pH neutre à légèrement alcalin (Landis et al. 1990), ce qui a été le cas de l'eau d'irrigation utilisée dans cette expérimentation qui était une eau potable traitée.

La conductivité électrique des substrats a été relativement élevée dans les substrats contenant de la boue résiduaire, mais a resté dans l'intervalle souhaitable de la culture hors sol qui devait se maintenir entre 0,75 et 3,5 mmhos/cm en cours de culture (Comtois et al. 2004). Cette augmentation a été probablement due à la présence d'ions phosphates dans le substrat (Polan et al. 1993).

Les substrats testés ont montré une faible teneur en azote total durant le cycle d'élevage des plants en pépinière. Le rapport C/N a affiché en fin du cycle avec des valeurs ( $< 25$ ), dans les normes préconisées pour la culture hors sol (Comtois et al. 2004). Ces valeurs permettaient une bonne minéralisation de la matière organique et une disponibilité de l'azote pour la plante.

L'évaluation des caractéristiques dimensionnelles des plants issus des différents substrats testés a permis de montrer une variabilité significative des paramètres mesurés en relation avec les proportions de boues additionnées. Avec une hauteur moyenne de 17,45 cm et un diamètre de 3,52 mm, les plants produits sur le substrat témoin ont montré un retard de croissance par rapport aux plants des substrats renfermant de la boue. Les moyennes enregistrées pour le témoin ont été inférieures même aux normes de qualification des plants cités par Lamhamdi et al. (2000). Alors que les plants élevés dans les substrats contenant 20 % et moins de boue (T1, T3 et T2) ont présenté des performances morphologiques remarquables et très proches entre elles.

La relation hauteur/diamètre (H/D) nous renseigne sur l'équilibre de croissance en hauteur par rapport à la croissance en diamètre traduisant la vigueur et la stabilité du plant (Cornine et al, 1988). Les plants produits dans les substrats contenant de la boue avaient un H/D supérieur à 4,50 correspond aux normes communément admises pour les pins (Lamhamdi et al ,2000), parmi lesquels, les plants du substrat T3 renfermant 20 % de boue résiduaire avaient le meilleur rapport H/D.

Pour ce qui de la production de matière sèche, la biomasse aérienne était en moyenne 6,06 g/plant chez les plants issus des substrats à base de boue résiduaire et 3,53 g/plant pour le témoin. Alors que la biomasse racinaire était en moyenne 2,80g/plant pour le substrat T2 contre 2,63 g/plant pour le substrat témoin. Le meilleur ratio des biomasses PA/PR a été obtenu par le substrat T2 (1,97g/g), lequel était très proche à la norme admissible pour la production de plants en conteneurs (2g/g) citée par Lamhamedi et al. (2006).

Les teneurs en azote total mesurées lors de l'évaluation du statut nutritionnel des plants étaient inférieures aux seuils préconisés pour les pins qui sont de l'ordre 1,60 à 2,0 % (Lamhamdi et al. 2000). La concentration la plus élevée en azote total dans les tissus des parties aériennes a été obtenue chez les plants du substrat T3 (0,35 %). Une baisse des concentrations en azote dans les tissus des plants a été constatée du delà d'une dose de 20 % de boue. En effet, la diminution de fertilité du substrat en azote au cours du cycle d'élevage fut accompagnée d'une diminution de la concentration en azote dans les tissus des plants, ce qui explique les rendements inférieurs observés pour les paramètres de croissance chez les plants élevés dans les substrats contenant plus de 20 %. Ce manque d'azote peut être compensé par une fertilisation azotée permettant d'atteindre les concentrations tissulaires recommandées en cet élément essentiel.

Les teneurs en micro-éléments (Mn, Zn et Cu) ont montré des excès en zinc et en en manganèse chez les plants en fin de cycle d'élevage. A ce propos, les standards de Youngberg (1984) prévoient des teneurs variant de 4 à 20 ppm dans les parties aériennes des plants d'espèces conifères. Alors que les teneurs en cuivre des parties aériennes des plants ont été conformes aux valeurs standards à l'exception du substrat T1 ayant une valeur de 1,07 ppm.

Pour les paramètres qualitatifs visuels, les observations menées sur les lots des plants de pin maritime ont montré l'apparition d'une chlorose au niveau des jeunes aiguilles de l'apex des plants élevés sur les substrats refermant plus de 20 % de boue. Les aiguilles de l'apex devenaient brunes, dépourvues donc de tout pouvoir photosynthétique. Cette étape a été suivie par le dessèchement total de l'apex et la mort des plants atteints. Cette chlorose peut être expliquée, d'une part, par une carence en azote total des substrats testés et d'autre part par l'excès en zinc et en manganèse dans la solution des substrats testés. En effet, selon Foucard (1994), l'excès de zinc et de manganèse provoquent une chlorose des feuilles, y compris les nervures, qui se dessèchent finalement.

En somme, nous pouvons dire que parmi les substrats étudiés, les substrats T1, T2 et T3 renfermant respectivement 10 %, 15% et 20% de boues résiduaires étaient les meilleurs car les plants élevés sur ces substrats avaient des performances dimensionnelles, pondérales et nutritionnelles bien meilleures que celles des plants élevés sur les autres substrats. Ils étaient sains et indemnes des symptômes de carence ou d'excès des éléments nutritifs pouvant déprécier leur qualité.

## **Conclusion**

Le présent travail a montré la possibilité de valoriser les boues résiduaires dans la confection des substrats de culture. Certains substrats étudiés ont montré des caractéristiques physico-chimiques acceptables pour la croissance et le développement des jeunes plants de pin maritime en pépinière. La présence de métaux lourds a été confirmée sans autant dépasser les normes qui déconseillent leur utilisation pour l'élevage des plants en pépinière.

Néanmoins, on a constaté que les proportions élevées de boues résiduaires ont affecté la nutrition des plants qui s'est traduite par des symptômes apparents (chlorose) au niveau des aiguilles des jeunes plants de pin maritime. Les plants issus des substrats renfermant moins de 20% de compost de boues semblent offrir les meilleures conditions pour produire des plants de qualité.

Les résultats de cette expérimentation ouvrent de bonnes voies pour proposer les proportions optimales de boues résiduaires pour l'élevage de plants forestiers en pépinière. Le compost de boues résiduaires mélangé à d'autres matériaux organiques d'usage pour l'élevage de plants en pépinière nous a servi pour atteindre un objectif double: d'une part, il a permis de trouver une alternative pour gérer les boues résiduaires dont le stockage pose de sérieux problèmes environnementaux ; d'autre part, il a permis d'améliorer la qualité des plants pour une meilleure réussite en site de reboisement.

La poursuite de cette expérimentation par un essai de transplantation des plants élevés dans les substrats à base de boue permettra de confirmer les résultats obtenus en pépinière.

### Références bibliographiques

- AFNOR, 1985 - Boues des ouvrages de substrat des eaux usées urbaines. Dénominations et spécifications. Norme NF U 44-041, Afnor, Paris La Défense.
- Amir S., 2005 - Contribution à la valorisation des boues de stations d'épuration par compostage : Devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Thèse. Doctorat. Institut national de polytechnique. Sciences agronomiques. Toulouse.341p.
- Ammari Y. ; Lamhamedl M.S. ; Akrimi N. et Zine El Abidine A. 2006- Influence de divers substrats à base de compost sur le statut nutritionnel et la capacité de croissance racinaire des plants de pin pignon. Annales de l'INGREF, 9 (2), numéro spécial, 151-174pp.
- Andre J.P., 1987- Propriétés chimiques des substrats, Ed. INRA, Paris, France, 127-137 pp.
- Argillier. C. ; Falconnet. G. ; Gruez. J. 1990 - Production de plants forestiers : Guide technique du forestier méditerranéen Français. CEMAGREF ; Aix en Provence, 32p.
- Aubert G., 1978- Méthodes d'analyse des sols. Document de travail. Edition du Centre régional de documentation pédagogique de Marseille, 191 p.
- Baize D., 1988- Guide des analyses en pédologie 2<sup>ème</sup> édition revue et augmentée ; édition INRA, Paris France.
- Bascoul V. et Chaumonyet O., 2000 - Epandage sylvicole des boues de station d'épuration . Experience pratique du SIVOM du pays des Maures et du pays des Maures et du Golfe de Saint-Tropez. Forêt méditerranéenne t,XXI, n°3 .pp374-380.
- Benmouffok A., 1994- Caractérisation et valorisation agricole des boues résiduaires de Draa Ben Khedda (Algerie) .Cahiers d'études et de recherches francophones/ agricultures. Vol3, 295-299 pp.
- Benterrouche I., 2007- Réponses écophysiologicals d'essences forestières urbaines soumises à une fertilisation avec les boues d'épuration.memoire magister. Université de constatine .p158.
- Cadillon M., Lancar L. et Lacassin J-C., 2000 - Le comportement des espèces forestières dans les sols amendés avec de forts tonnages de boues d'épuration. Forêt méditerranéen t. XXI, n° 3,381-386pp.
- Chang A.C., Granato, T.C. et Page, A.L., 1992 - A methodology for establishing phyto-toxicity criteria for Cr, Cu, Ni, and Zn in agricultural land application of municipal sewage sludges. J.Environ. Qual., 21, 521–536 pp.
- Chossat J.C.,2000 - Utilisation des boues de station d'épuration sous forêt de pins en Aquitainet. XXI, n° 3, 391-394pp.
- Comtois M. et Legare M., 2004 - La fertilisation des plantes ligneuses cultivées en contenant. Programme Horti-2002 , Direction de l'innovation scientifique et technologique.57p
- Cornine B. et Dominique C., 1988 - Les plantations d'alignement le long des routes, chemins, canaux, allées Collection mission du paysage. Institut pour le Développement Forestier IDF, 416 p.
- Couillard C., 1986 - Etude de quelques indices de croissance de *Larix laricina* fertilisés par des boues anaérobies. Pub.div.selper LTD, pp 191-206.
- Couillard C. et Grenier Y., 1988 – Alternative à la gestion des boues résiduaires municipales, recyclage en sylviculture, sci, techn, de l'eau, vol, 20, n°3 215-220 pp.
- Cripps, R.W., Winfree, S.K. et Reagan, J.L., 1992 - Effects of sewage sludge application method on corn production. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23, 1705–1715pp.

- Dagnelie P., 2003- Les principes de l'expérimentation : Planification des expériences et analyse de leurs résultats. Les presses agronomiques de Gembloux, 398 p.
- De Bertoldi M., Vallini G. et Pera A., 1983 - The biology of composting: a review. Waste. Mngmt Res. 1, 157-176.
- Dridi B. et Toumi C., 1998 - Influence d'amendements organiques et d'apport de boues sur les propriétés d'un sol cultivé. Etude et gestion des sols ,6 ,1, 7-14 pp.
- Foucard J.C. 1994 - Filière pépinière: de la production à la plantation. Lavoisier Paris 428 p.
- Grenier Y., 1989 - La valorisation des boues d'usine d'épuration des eaux pour la fertilisation des forêts. Thèse. Ing Canada, rech, forst, 189p.
- Igoud, S., 2001- Valorisation des boues résiduelles issues des stations d'épuration urbaines par leur épandage dans les plantations forestières. Revue des énergies Renouvelables: Production et valorisation - Biomasse, 200 1, 69-74.
- Jarde, E., Mansuy, L. et Faure, P., 2003 - Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas chromatography-mass spectrometer (THM-GC/MS). J. Anal. Appl. Pyrol., 68-69, 331-350pp.
- Kiemnec G.L., Hemphill D.D., Hickey M., Jackson T.L. et Volk V.V., 1990 – Sweet corn yield and tissue metal concentration after seven years of sewage sludge applications. J. Prod. Agric., 3 : 232-237pp.
- Laala A., Maameche M. et Hafsi M., 2016 : Effet de quelques substrats sur la production des plants forestiers : cas du cyprès . Revue Agriculture. Université Ferhat Abbas Sétif 1 .Numéro spécial 1, 62-69pp.
- Lacey C., 1985 - Analyses des boues. AFEE, Tome 1, 135 p .Tome 2, 127 p.
- Lamhamedi M. S., Ammari Y., Fecteau B., Fortin A. et Margolis H ., 2000 -Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégies de développement .Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures. Volume 9, Numéro 5. 369-80 PP .
- Lamhamedi, M S., Fecteau B., Godin L. et Gingras C., 2006 - Guide pratique de production en hors sol de plants forestiers, pastoraux et ornementaux en Tunisie. Livre - PAMPEV Internationale Ltée (éd.). Longueuil, Canada. ISBN 9973-914-08-2. 110 p.
- Landis T. D., Tinus R. W., Mc Donald S. E. et Barnett J. P., 1990 - The Container Tree Nursery Manual. Vol. 4: Seedling nutrition and irrigation. Agriculture Handbook Series, 674. Washington, DC, États-Unis, US Department of Agriculture, Forest Service, 119 p.
- Liegel L.H. et Venator C.R., 1987 - A technical guide for forest nursery management in the Caribbean and Latin America. General technical report SO-67. New Orleans, LA, USDA forest service, Southern forest experiment station. World Bank publications, 75 p.
- McConnell D.B., Shiralipour A. et Smith W.H., 1993 - Compost application improves soil properties. Biocycle, 4 : 61-67 pp.
- Ripert C.; 2000 – utilisation de compost d'ordures ménagères en reboisements méditerranéennes. forêt méditerranéennes .T, XXI ,N°3, 374-380 pp.
- Roula S., 2005 - Caractérisation physico-chimique et valorisation des boues résiduelles urbaines pour la confection de substrats de cultures en pépinière hors-sol. Thèse. Magistère. Dpt. Agro. Batna.115p.
- Ouanouki B. et Igoud S., 1993 - Contribution à l'étude des boues résiduelles issues des stations d'épuration urbaine dans les plantations forestière. Rev. for.fr. XLV-2. 153-158 pp.
- Ozores-Hampton M., Hanlon E., Bryan H. et Schaffer B., 1997 - Cadmium, copper, lead, nickel and zinc concentration in tomato and squash grown in MSW compost-amended calcareous soil. Compos. Sci. Util., 5 : 40-45 pp.
- Polan, P., Gagnon J. et Jones J.P., 1993 - L'utilisation du compost de boues de stations d'épuration des eaux comme substrat de culture pour la production des plants forestiers en récipients. Canadian Journal of civil engineering 20: 518-527pp.
- Youberg C. T., 1984 - Soil and tissue analysis: tools for maintaining soil fertility. In: ML., Duryea and TD. Landis (eds.). Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Boston (MA): Martinus Nijhoff/Dr W. Junk, The Hague. 75-80 pp.
- Zraïbi L., Chaabane K. , Berrichi A. , Sbaa M. , Badaoui M. , Zarhloule Y. et Georgiadis M., 2015 - Evaluation de la valeur agronomique du compost des boues de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Nador. J. Mater. Environ. Sci. 6 (10) . ISSN : 2028-2508 . 2975-2985 pp.